

# VAN GRONDSTOF TOT ALUMINIUM

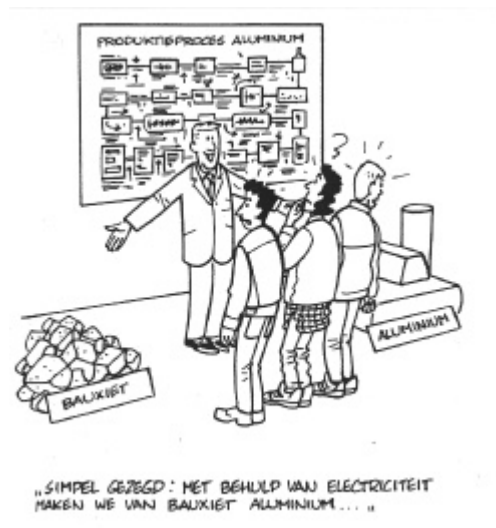
## INLEIDING

Het gebruik van het lichte metaal aluminium heeft in vergelijking met andere veel toegepaste metalen als ijzer, koper, tin, zilver en goud nog maar een korte geschiedenis. Aluminium werd ontdekt aan het begin van de 19<sup>e</sup> eeuw en kwam pas aan het begin van de 20<sup>e</sup> eeuw ruim beschikbaar voor industriële toepassing. Nog geen 100 jaar later is aluminium niet meer weg te denken. Het is gebleken een niet schaars, breed toepasbaar en duurzaam materiaal te zijn dat voor diverse functies in zeer verschillende producten kan worden toegepast.



De aardkorst bestaat voor circa 8% uit verbindingen van aluminium met andere elementen. Daarmee komt aluminium van alle metalen het meest voor. Alleen zuurstof en silicium (*zand*) zijn op aarde in grotere hoeveelheden aanwezig. Aluminium wordt in de natuur niet in zuivere vorm aangetroffen, maar vrijwel altijd in de aluminiumzuurstofverbinding aluminiumoxide (ook wel *alimuna* of *aluinaarde* genoemd), waarvan de hoogste concentraties (45-60%) worden gevonden in het erts bauxiet.

De Engelse scheikundige Davy gaf het zuivere metaal de naam aluminium. (Latijn voor *alumina*).



Bauxiet is genoemd naar het Zuidfranse plaatsje Les Baux, waar een onderzoeker het in 1821 aantroef.

Zuiver aluminium (afgekort *Al*) wordt verkregen door aan bauxiet aluinaarde te onttrekken (het Bayer proces) en het met behulp van elektriciteit om te zetten in zuiver of primair aluminium (het Hall/ Heroult proces).

## WERELDWIJDE WINNING, HANDEL EN PRODUCTIE

Fabricage van aluminium producten geschiedt vrijwel overal ter wereld. De hoge waarde en het relatief lage transportgewicht maken het mogelijk dat de fabricage nauwelijks plaatsgebonden is. Wel plaatsgebonden is de productie van primair aluminium. Het onttrekken van de aluinaarde aan het bauxiet geschiedt doorgaans nabij de bauxietwinning. De omzetting van aluinaarde in zuiver of 'primair' aluminium is in toenemende mate gebonden aan plaatsen waar elektrische energie goedkoop is en ook relatief schoon kan worden opgewekt. Om die reden wordt al meer dan 60% van de elektrische energie voor het primaire aluminium geproduceerd door waterkrachtcentrales.

Het omsmelten van aluminiumproducten tot hergebruikt of 'secundair' aluminium vergt relatief weinig energie en kan in principe overal plaatsvinden waar voldoende aanbod is van (ingezameld) gebruikt aluminium.

Nederland beschikt over meerdere producenten van primair aluminium (*primaire smelters*). Daarnaast is er in Nederland een tiental producenten van secundair aluminium (*secundaire smelters*).

Aluminium wordt vrij verhandeld via de Londense beurs (LME), zodat de herkomst van het gebruikte aluminium nooit precies bekend is.

### **BAUXIETWINNING**

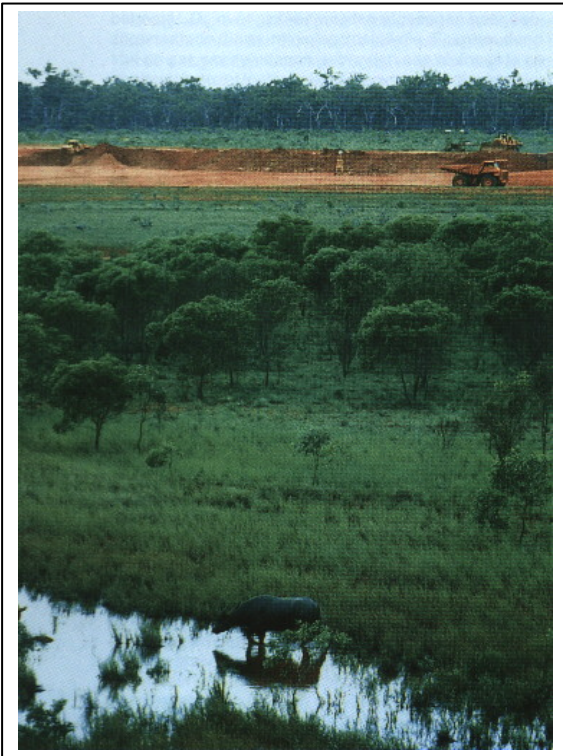
Bauxiet komt voor in (sub)tropische gebieden en wordt vooral gewonnen in Australië, Latijns-Amerika, en Afrika, omdat bauxiet daar de hoogste concentratie aluinaarde bevat.

### **BAUXIET RUIME VOORRADEN**

Bauxiet is in vergelijking met andere natuurlijke grondstoffen zeer ruim beschikbaar. Uitgaande van het wereldgebruik van aluminium werd in 1985 verondersteld dat de toen bekende voorraden goed waren voor 1250 jaar aluminiumproductie. Vergeleken met andere grondstoffen is dat zeer lang. Verwacht mag worden dat het toenemende hergebruik van aluminium die periode nog zal verlengen.

### **VAN BAUXIET NAAR ALUINAARDE**

Bauxiet wordt gescheiden in aluinaarde en een restfractie. Uit circa 4,6 kg bauxiet wordt 1,9 kg aluinaarde verkregen. De reststof bestaat uit niet-opgeloste materialen als zand en metaaloxiden, waarvan ijzeroxide zorgt voor de rode kleur. Vandaar de naam *red mud*.



Het scheiden vindt plaats door de 4,6 kg bauxiet op te lossen in circa 1,0 liter natronloog (50% oplossing), waarbij na kristallisatie en calcinatie (met kalk) de aluinaarde in poedervorm overblijft. Hoewel natronloog in het proces wordt

teruggewonnen, blijven er resten achter in de aluinaarde en de red mud. Red mud kan op kleine schaal worden gebruikt voor het kleuren van dakpannen, waterzuivering, vulmateriaal voor asfaltwegen, rookgasontzwareningen kunstmest, maar het merendeel is niet economisch bruikbaar en wordt doorgaans opgeslagen in bekkens met een ondoordringbare kleibodem. Na een periode van 5 à 10 jaar. Is door omzetting van CO<sub>2</sub> uit de lucht of uit regenwater het restant natronloog geneutraliseerd tot water en soda. Daarna kan nieuwe aanplanting plaatsvinden.

### **RUIMTEGEBRUIK**

Voor 1000 kilo primair aluminium moet ongeveer 0,7m<sup>2</sup> worden afgegraven tot een diepte van 7 meter. Eenderde daarvan wordt gewonnen in gebieden met tropisch regenwoud. Met de totale wereldproductie van aluminium is per jaar ongeveer 3,5km<sup>2</sup> tropisch regenwoud gemoeid. Dit is minder dan 1 miljoenste deel van het totaal per jaar. Ten dele herstelt de natuur zichzelf binnen 10 jaar en ten dele wordt het landschap herbeplant of opnieuw ingericht.

Om te neutraliseren wordt redmud gedurende 5 tot 10 jaar opgeslagen in grote bekkens. Na afloop kan nieuwe aanplanting plaatsvinden.

### **HERSTEL VAN AFGEGRAVEN LANDSCHAP**

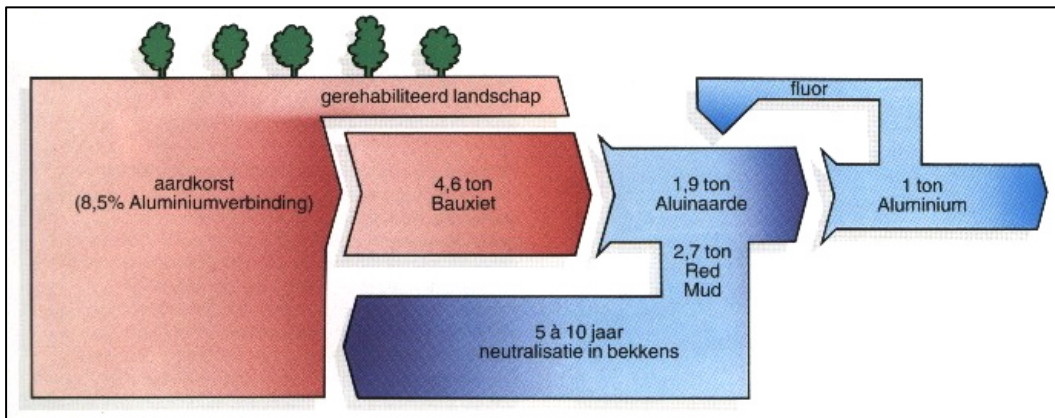
Tegenwoordig wordt in steeds meer gebieden al in de planningsfase van bauxietwinning met rehabilitatie van het landschap rekening gehouden. Na winning wordt het landschap teruggebracht in de oorspronkelijke staat of, in gevallen waarin overheden dit wensen, vervangen door een ander type ecosysteem voor landbouw, veeteelt, recreatie, ed. Mede dankzij de Wereld Bank, die in veel gevallen meefinanciert, is deze trend naar wereldwijde harmonisatie van de relevante milieunormen ingezet. Rehabilitatie vindt daarom daadwerkelijk plaats.

### **VAN ALUINAARDE NAAR ALUMINIUM**

#### **HET ELEKTROLYSEPROCES**

Aluinaarde wordt, na verscheept te zijn naar de primaire smelters (*de aluminiumfabrieken*), in een bad met het fluoridenzout kryoliet bij een temperatuur van 950 graden Celsius met behulp van elektriciteit omgezet in vloeibaar aluminium. Uit 1,9 ton aluinaarde wordt 1 ton nieuw aluminium gewonnen.

Uit het elektrolysebad wordt het vloeibare, nieuwe aluminium in verschillende vormen gegoten (broodjes, walsblokken en palen). De walsblokken worden door walsrijen verwerkt tot plaat, band en folie en de palen door extrusiebedrijven tot staven en profielen.



#### AFVAL EN EMISSIES TIJDENS DE PRODUCTIE VAN PRIMAIR ALUMINIUM

Bij de productie van primair aluminium worden afval en emissies zoveel mogelijk voorkomen. In het elektrolyseproces gaat het met name om fluoremissies en puin van vervangen anodes en bemetseling uit elektrolyseovens. De ovens zijn tegenwoordig voorzien van een omkasting en automatisch werkende bedieningssystemen waardoor de uitstoot van fluorhoudende dampen wordt beheerst. De ovengassen worden afgezogen naar een zogenaamde droge reinigingsinstallatie. Fluorhoudend stof en gas worden daarin gebonden aan aluinaarde en opnieuw ingezet in de elektrolyseovens. Resterende fluoremissies bedragen circa 2,0kg per ton aluminium (dat is nog slechts circa 25 % van de emissies in de jaren '60-'70 en kunnen in de modernste installaties 0,9kg bedragen. De huidige fluoremissies blijven in het algemeen beneden de advieswaarde die door de Gezondheidsraad is opgesteld.

De ovens worden elke vijf jaar voorzien van een nieuwe vuurvaste bemetseling. Hierbij komt fluorhoudend ovenpuin vrij. De levensduurverlenging van de bemetseling heeft al geleid tot vermindering van deze afvalstroom tot circa 50 gram per kg. aluminium (30 gram in

de modernste ovens). Het resterende bemetselingspuin bevat circa 3 à 4 gram fluoriden en wordt, eventueel na een voorbehandeling, afgevoerd naar beschermde, zogenoemde IBC stortplaatsen. Er zijn proefprojecten gestart om fluor uit het puin terug te winnen. Toepassing op grote schaal wordt over 5 à 10 jaar verwacht.

Bij vervanging van elektrolyseanodes, die zijn samengesteld uit cokes en teer, ontstaat per kg aluminium 110 gram afval, dat in de vorm van koolstofblokken als brandstof en grondstof wordt geleverd aan staal – en cementindustrieën.

Naast het vaste afval in de vorm van ovenpuin ontstaan tijdens het productieproces ook emissies naar de lucht.

Met rookgasreinigingsinstallaties bij de ovens, het zuiveren van proces- en koelwater en opvang van stof worden emissies van schadelijke bestanddelen geminimaliseerd.

Door haar omvang en zichtbaarheid als onderdeel van de basismetallindustrie is de aluminiumindustrie een van industrieën die veel aandacht besteden aan de schadelijke milieueffecten van hun activiteiten. Mede door die kritische aandacht zijn de laatste 20 jaar veel maatregelen genomen om energie te besparen en afvalmissies te beperken en zo mogelijk weer in de productiekringloop te gebruiken. Dit is een continue proces.

Voortdurend worden nieuwe technieken ontwikkeld en de aluminiumindustrie heeft daarbij het voordeel te produceren in relatief weinig, maar zeer grote vestigingen. Derhalve is zij in staat milieutechnieken grootschalig en efficiënt toe te passen. De aluminiumindustrie is zich daarbij bewust van het feit dat de – door de aard van het productieproces noodzakelijk – grote productielocaties meer aandacht en kritiek oproepen dan andere industriële processen, waarvan de milieueffecten verspreid zijn over een groter aantal vestigingen.

## ENERGIE

Voor het elektrolyseproces van primair aluminium is veel elektrische energie nodig. In feite is na bauxiet elektriciteit de tweede grondstof voor primair aluminium. De vermindering van het energiegebruik en de milieueffecten hiervan is een constante doelstelling van de aluminiumindustrie en komt als volgt tot stand:

- het energiegebruik voor productie van aluminium daalt door efficiëntere productieprocessen.
- de aluminiumindustrie maakt in toenemende mate gebruik van waterkrachtcentrales, in plaats van met fossiele brandstoffen gestookte centrales. Bovendien is de omzetting van water in elektriciteit efficiënter, dan de omzetting van fossiele brandstoffen in elektriciteit.
- hergebruik van aluminium bespaart 90 tot 95% van de energie die nodig is voor productie primair aluminium.

## EIGENSCHAPPEN

Onderstaande eigenschappen zijn van toepassing op zuiver aluminium (Al99,98). Daarnaast worden enige specifieke eigenschappen van het materiaal belicht.

Dichtheid	2700 kg/m <sup>3</sup>
E-modulus	70000 N/mm <sup>2</sup>
Treksterkte	40 – 50 N/mm <sup>2</sup>
G-modulus	27000 N/mm <sup>2</sup>
Liniare uitzettingscoëfficiënt	23.10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>
Smeltpunt	658 °C
Soortelijke weerstand bij 20°C	27.10 <sup>-9</sup> Ω/m

## SOORTELIJKE MASSA

Aluminium kent een goede verhouding tussen soortelijke massa en de sterkte. De soortelijke massa van aluminium en haar legeringen bedraagt 2700kg/m<sup>3</sup>, hetgeen ongeveer 1/3 van de soortelijke massa van staal is. Hierdoor zijn veelal belangrijk gewichtsbesparingen te realiseren.

## WEERSTAND TEGEN CORROSIE

Zuiver aluminium en kopervrije legeringen zijn goed bestand tegen veel milieus. Hoewel aluminium een zeer onedel metaal is, is het desondanks goed bestand tegen atmosferische corrosie. Dit wordt veroorzaakt door de zeer harde en dichte oxidelaag (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) die spontaan ontstaat.

## MECHANISCHE EIGENSCHAPPEN

De elasticiteitsmodulus die ongeveer 1/3 van staal bedraagt is een niet structuurgevoelige eigenschap die bij legeren weinig of niet verandert. De kerfslagwaarde van aluminium en aluminiumlegeringen kent bij temperatuuurdalingen geen plotseling optredende vermindering zoals dit bij staal het geval is. Bij temperatuuurdaling stijgt de kerfslagwaarde zelfs enigszins. De treksterkte van zeer zuiver aluminium (99,98%) is bijzonder laag. Door het materiaal te legeren kan de treksterkte echter aanmerkelijk verhoogd worden ( 530 N/mm<sup>2</sup> bij EN AW-7075 (AlZnMgCu<sub>1,5</sub>). Tevens kunnen kouddeformeren en een warmtebehandelingen de mechanische eigenschappen beïnvloeden.

## LEGERINGEN

Aluminium wordt zowel in zuivere vorm als gelegeerd toegepast. Men onderscheidt twee typen legeringen, de gietlegeringen met legeringspercentages die meestal boven de 3% liggen en de kneedlegeringen met legeringspercentages meestal daaronder. Om orde te scheppen in het enorme aanbod van de verschillende soorten zijn deze onderverdeeld in 8 hoofdgroepen.

	gelegerd met	legering	kenmerken
1xxx	onlegeerd	zuiver	hoge glanskwaliteit, in zachte toestand zeer goed vervormbaar, zeer goed corrosiebestendig en lasbaar, matige sterkte
2xxx	koper	Al Cu	matig corrosiebestendig, slecht lasbaar, veredelbaar, hoge sterkte, automataandrijving
3xxx	mangaan	Al Mn	zeer goed corrosiebestendig en lasbaar, goed vervormbaar, goede mechanische eigenschappen, veredelbaar, dakbedekking, scheidingswanden, vaten
4xxx	silicium	Al Si	goed gietbaar
5xxx	magnesium	Al Mg	zeewaterbestendig, goed corrosiebestendig en lasbaar, decoratief te anodiseren, architectuur, scheepsbouw, levensmiddelenindustrie
6xxx	magnesium + silicium	Al Mg Si	goed corrosiebestendig en lasbaar, zeer goed vervormbaar, extrusieproducten, veredelbaar
7xxx	zink	Al Zn	matige corrosiebestendigheid en lasbaarheid, hoge sterkte, extrudeerbaar, veredelbaar,
8xxx	overig		

#### VOOR- EN NADELEN

goed $\epsilon$ eigenschappen	minder goede eigenschappen
licht gewicht	laag smeltpunt
corrosiebestendig	relatief lage E-modulus
goed vervormbaar	lage sterkte bij hoge temperatuur
uitstekend bewerkbaar	snelle vermoeiing t.o.v. staal
geschikt voor extreem lage temperaturen	
uitstekend recyclebaar	
goede geleidbaarheid (warmte, elektriciteit)	